

## Application Note

# キーボード アプリケーションでの位置センシング



Alicia Rosenberger

### 概要

キーボード アプリケーションについて言及する際、ホール効果センサはキー押下の検出に使用します。また、3D ホール効果センサを使用すると、角度の回転とノブのボタン押下を検出できます。この資料では、ホール効果センサが提供する追加の構成機能をキーボード アプリケーションで使用する方法について説明します。

### 目次

1はじめに	2
2ホール効果センサの利点	2
2.1キー用のホール効果センサ	2
2.2ノブ向け、3Dホール効果センサ	4
3キーブレス設計に関する考慮事項	5
3.1キーブレス設計のシミュレーション	5
3.2キー押下ベンチの結果	9
4キーボードの設計例	11
5まとめ	12
6参考資料	12

### 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 はじめに

コンピュータ キーボードの精度、耐久性、カスタマイズ性の要求が高まるにつれ、ホール効果センサの使用がより望ましいものになります。キーボードの入力デバイスにおける新しい技術の中で、ホール効果センサは、従来の機械式スイッチに比べて、高い構成変更能力をユーザーに提供します。さらに、ホール効果センサを使用すると、これらのキーボードの寿命を大幅に延ばすことができます。この資料では、キーボード アプリケーションでホール効果センサを採用する場合の主な利点について説明します。従来の機械式スイッチと比較した場合の利点や、ノブでのホール効果センサの使用方法、キーボード アプリケーションでの設計上のいくつかの考慮事項などが該当します。

## 2 ホール効果センサの利点

### 2.1 キー用のホール効果センサ

キーボードの場合、現代の設計で一般的に使用されているのは機械式スイッチです。これらの機械式スイッチは、キーストロークを登録するために、コンポーネント間の物理的な接触に依存して機能します。欠点は、時間が経過すると、これらの機械的部品は一定の摩擦が原因で可動部品が劣化する傾向があることです。また、これらのスイッチは固定のため、オン応答またはオフ応答のみを指定できます。これらの理由から、ホール効果センサは機械式スイッチの優れた代替案となります。

キーボードのホール効果センサは、機械式スイッチのような物理的な接触に依存するのではなく、磁界の変化を検出してキー押下を判定することで機能します。押されていないと、図 2-1 に示すように、磁石は高い位置になります。キーを押すと、磁石がセンサに近づくにつれて増加し、図 2-2 に示すように、センサから見た磁界が増加します。このような物理的な接触が不要になることで、ホール効果センサを使用するキーの耐久性が、機械式スイッチに比べて大幅に長くなります。

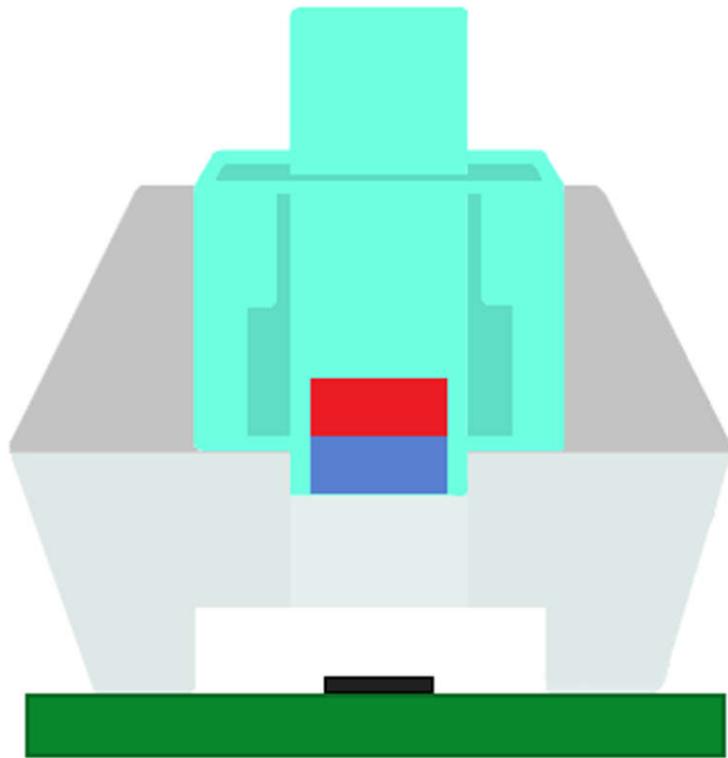


図 2-1. 磁気キーが押されていないホール効果センサ

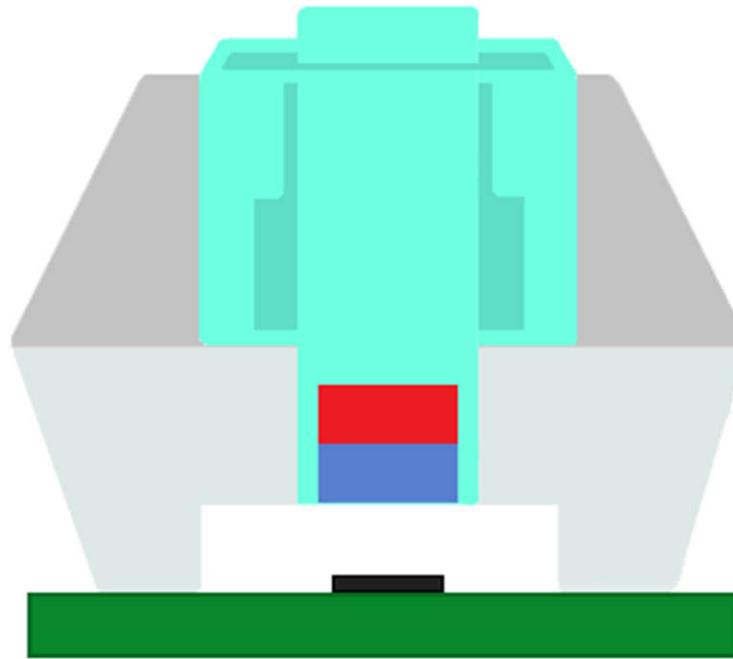


図 2-2. 磁気キーが完全に押されたホール効果センサ

TMAG5253 などの 1D リニア センサでは、押下するキーに比例する電圧出力が供給されます。磁石の極性に応じて、磁石がセンサに近づくにつれて、この電圧出力は増加または減少します。図 2-3 に示すように、TMAG5253 の電圧出力はデバイスが負の磁界を検出すると低下し、デバイスに正の磁界が検出されると増加する可能性があります。

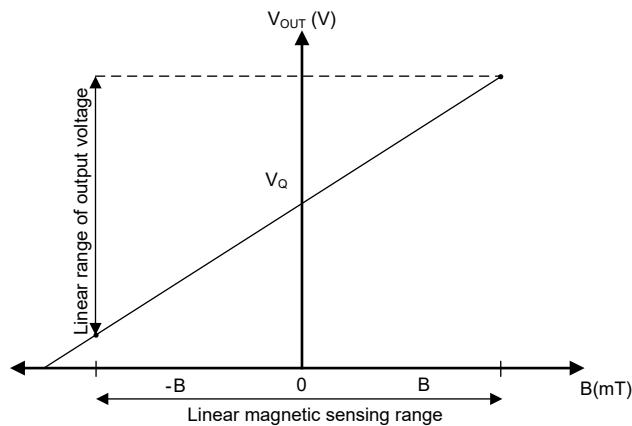


図 2-3. TMAG5253 磁気応答の直線性

このリニアな電圧出力を使用して、アナログ/デジタル コンバータ (ADC) を使用してキーボード キーの作動ポイントを設定できます。これにより、ユーザーに対し、キーボードの調整可能な作動ポイントを提供できます。キーストロークを登録する前にキーを押す必要のある距離をカスタマイズできるため、ユーザーは好みに応じて速度、精度、快適性を最適化できます。また、オン/オフ機能だけが必要な場合は、高精度のホール効果スイッチである TMAG5231 を使用できます。スイッチは、オン/オフ応答のみを検索する場合にデータを取得しやすくなるため、サンプリングを迅速化できます。

TMAG5253 には、調整可能なアクチュエータ駆動ポイントを使用できるほかに、消費電力の削減や必要な ADC の数の削減に役立つイネーブルピンもあります。キーボードを設計するとき、重要な考慮事項はキーボード上のキーの数です。標準的なフルサイズ キーボードには通常 104 個のキーがあり、マイコンには 104 本の ADC ピンが必要です。

TMAG5253 に搭載されているイネーブルピンにより、複数のデバイスが同じアナログ出力を共有できるため、必要な ADC の数を減らすことによりシステム コストを削減できます。

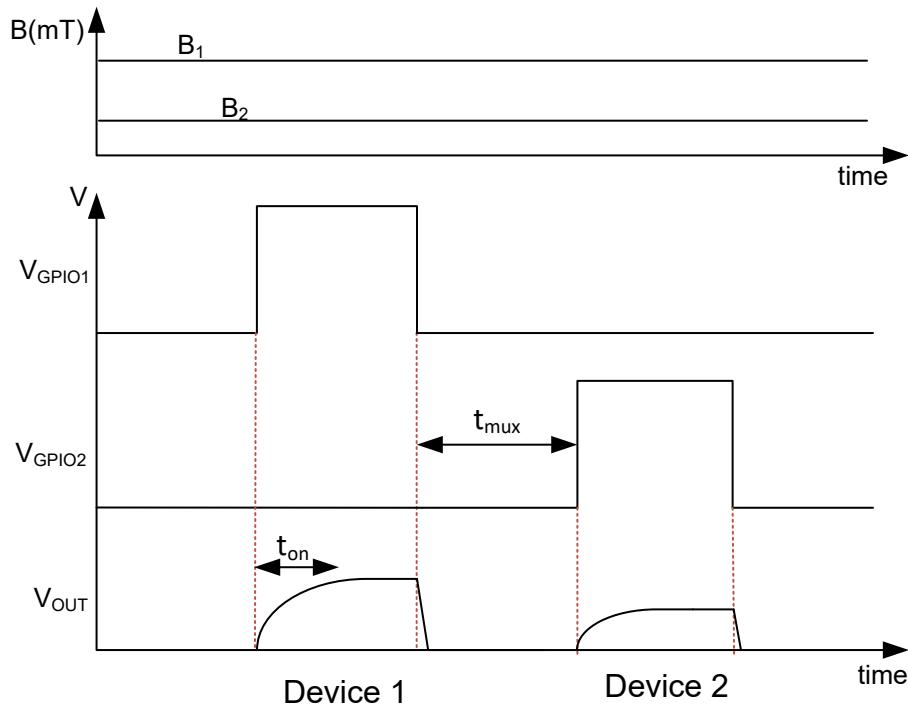


図 2-4. センサ出力のマルチプレクシングのタイミング図

図 2-4 に、マイコンを使用して複数のセンサ間を多重化する方法を示します。GPIO1 が High で GPIO2 が Low のとき、デバイス 1 はイネーブルになって出力ラインを駆動するのに対して、デバイス 2 はディセーブルになります。また、GPIO2 を High に切り替えて GPIO1 を Low にすると、デバイス 2 がイネーブルになって出力ラインが駆動されますが、デバイス 1 はディセーブルになります。TMAG5253 は、1nF の容量性負荷に対応できます。つまり、各センサの負荷容量が 20pF である場合、最大 50 個のセンサが同じ出力を共有できます。

## 2.2 ノブ向け、3D ホール効果センサ

ほとんどのキーボードではまだ一般的だとは言えませんが、キーボードが提供する機能とカスタマイズオプションの追加により、ノブ付きキーボードがますます人気を集めています。ノブ設計の一般的な実装には、機械式エンコーダとロータリーエンコーダがあります。ただし、長期的に使用した場合、機械式ノブはかさばって磨耗し、接触ベースのロータリーエンコーダはほこりや水などの環境要因の影響を受けます。このような問題を解決するには、3D ホール効果センサを使用できます。3D ホールエフェクトセンサは 3 つの軸すべての磁界を監視でき、それらを使用して角度と大きさを計算できます。TMAG3001 などのデバイスには角度計算エンジン (CORDIC) が内蔵されており、360 度の回転に対して角度の位置決めを行うために使用できます。さらに、TMAG3001 には振幅の計算も搭載されており、ボタンが押されたかどうかを判定するためにも使用できます。

### 3 キープレス設計に関する考慮事項

#### 3.1 キープレス設計のシミュレーション

ホール効果センサを使用するキーボードスイッチを設計する場合、重要な考慮事項はセンサの磁気センシング範囲です。飽和を回避し、キー押下の全範囲を検知できるようにするには、キーの磁気範囲全体をカバーできるセンサを選択する必要があります。アプリケーションに適したデバイスバリエーションを確実に選択する最善の方法は、磁気シミュレーションを使用することです。テキサス・インスツルメンツでは、設計プロセスの効率化に役立つ、[テキサス・インスツルメンツの磁気センスシミュレータ \(TIMSS\)](#)と呼ばれる磁気センスシミュレータを提供しています。このツールを使用すると、図 3-1 に示すように、磁石の移動の種類と、図 3-2 に示すように、使用する磁石の形状を指定できます。

#### 1 Function & Magnet

##### 1. Select Function

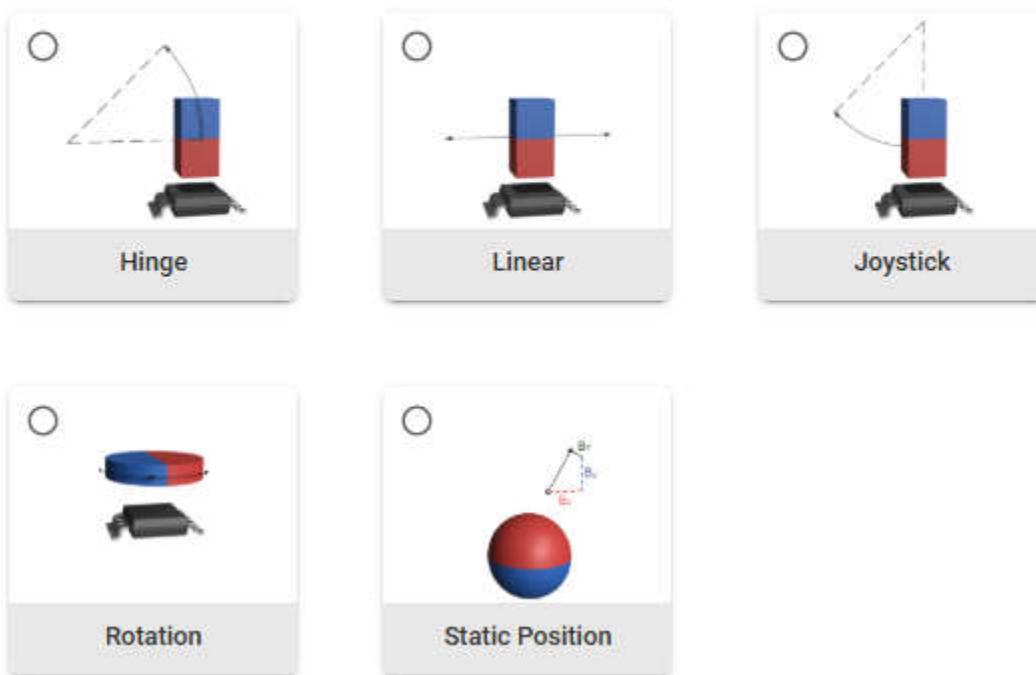


図 3-1. 磁石機能の選択

## 2. Select Magnet Shape

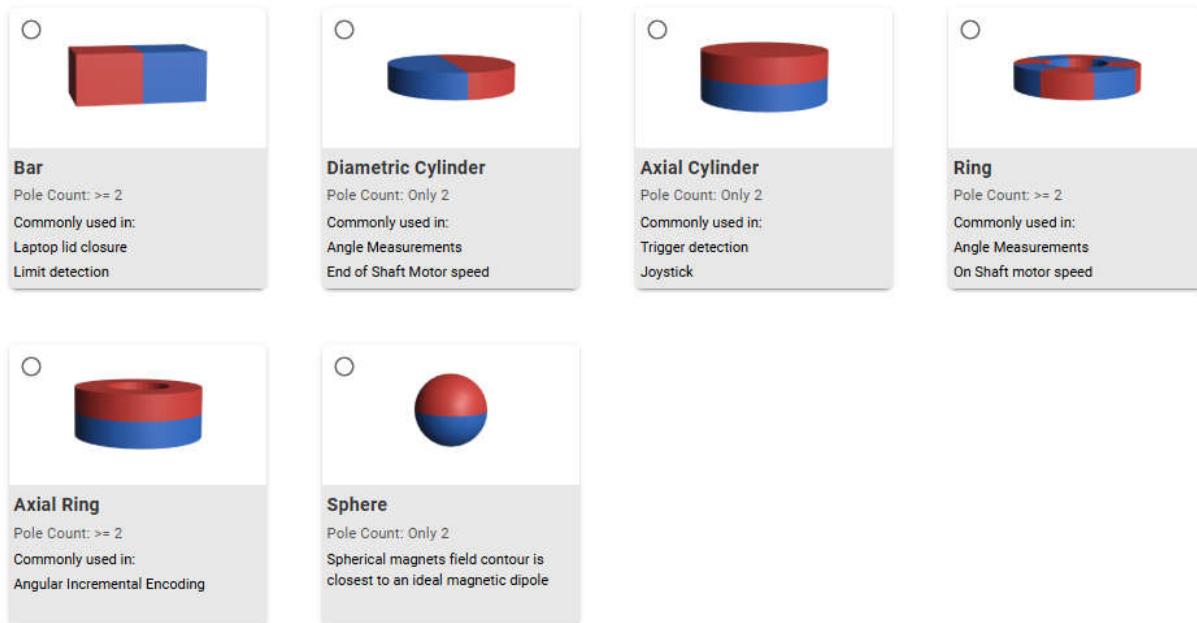


図 3-2. 磁石タイプの選択

**TIMSS** のキーボードキー押下の設計をシミュレーションするために、直線的に動く軸方向の円柱型磁石を選択します。ここで、ユーザーは、シミュレーションで使用する TI のホール効果センサを選択できます。図 3-3 に、キーボードアプリケーションで使用される一般的なキーボード磁気スイッチの例を示します。このような磁気スイッチの場合、磁石の底面を押さないとき、センサの上面から約 6.1mm 離れた位置に配置します。次に、押されているときに約 4mm 下に磁石を移動し、センサの上面から 2.1mm 離れた位置に配置します。この磁石は、YX18 サマリウムコバルト磁石と同じ残留性を持つ軸方向の円柱型磁石で、直径は約 2.818mm、高さは約 3.387mm です。図 3-4 にこれらの磁石入力と、図 3-5 にセンサ入力を示します。磁石の位置 (図 3-4 を参照) は、原点 (0, 0, 0) からの磁石の中心を基準にしています。したがって、磁石の底面からセンサの上面までの距離が正しいことを確認し、磁石の高さ 1.6935mm の半分 (押されていないときは 6.1mm) と最終的な位置 (完全に押されたときは 2.1mm) を磁石の原点位置に追加する必要があります。図 3-5 に示すように、センサの位置については、センサの底面が磁石を向き、パッケージの底面が原点に配置されるように配置されています。

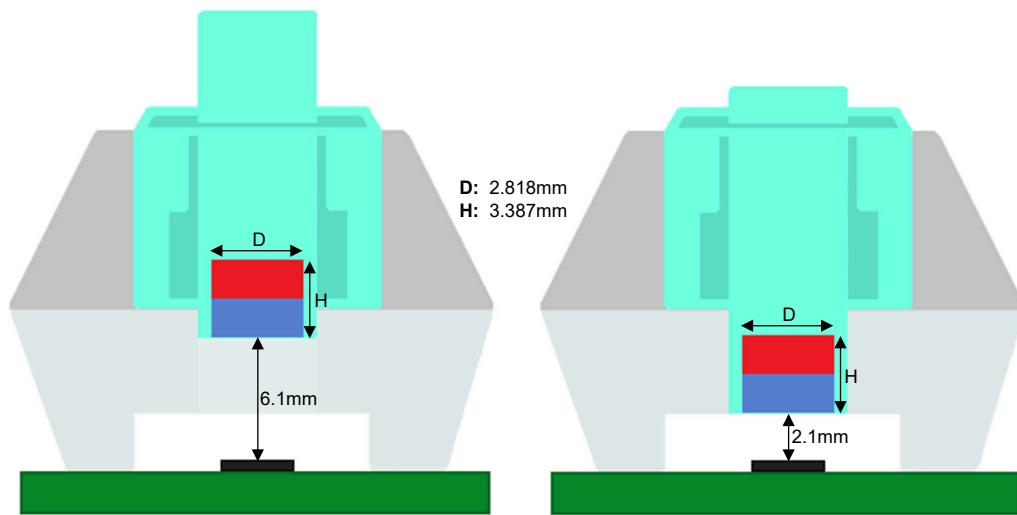


図 3-3. 一般的なキー押下アプリケーション

**Magnet**      **Sensor**      **Sim Settings**      **Magnet Geometry**

**Magnet Specifications**

- Magnet Shape: Axial Cylinder
- Poles: 2
- Magnet Material: Samarium Cobalt (Sm...)
- Material Grade: YX18
- Select Remanence Value: High Remanence Value
- Remanence (Br): 900 mT at 20°C
- Temperature: 20 °C
- Temperature Coefficient: -0.045 %/°C
- Coercivity: 7.8 KOe

**Magnet Geometry**

- Outer Diameter: 2.818 mm
- Height: 3.387 mm

**Magnet Motion**

**Origin Position**

Position		
X Axis	Y Axis	Z Axis
0 mm	0 mm	7.7935 mm

**Angle**

Angle		
X Axis	Y Axis	Z Axis
0 Deg	0 Deg	0 Deg

**Final Position**

Position		
X Axis	Y Axis	Z Axis
0 mm	0 mm	3.7935 mm

図 3-4. キー押下磁石入力

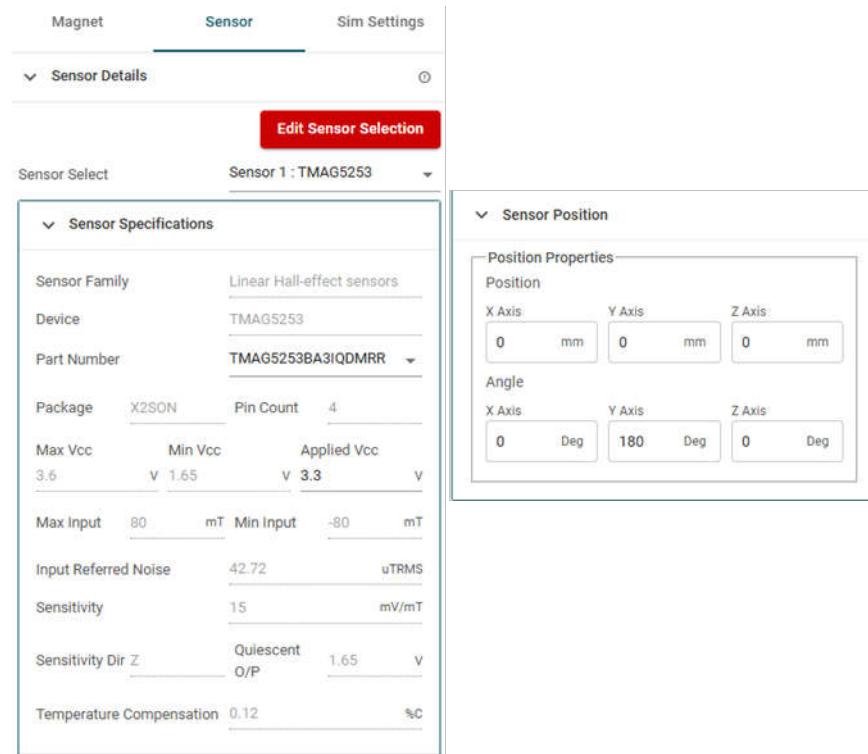


図 3-5. キー押下センサ入力

TMAG5253BA3 バリエーションの結果を [図 3-6](#) に示します。このバリエーションは磁気範囲が  $\pm 80\text{mT}$ 、標準的な感度が  $15\text{mV/mT}$  です。[図 3-6](#) から、これがセンサに近づくにつれて、磁界が着実に増加していることがわかります。

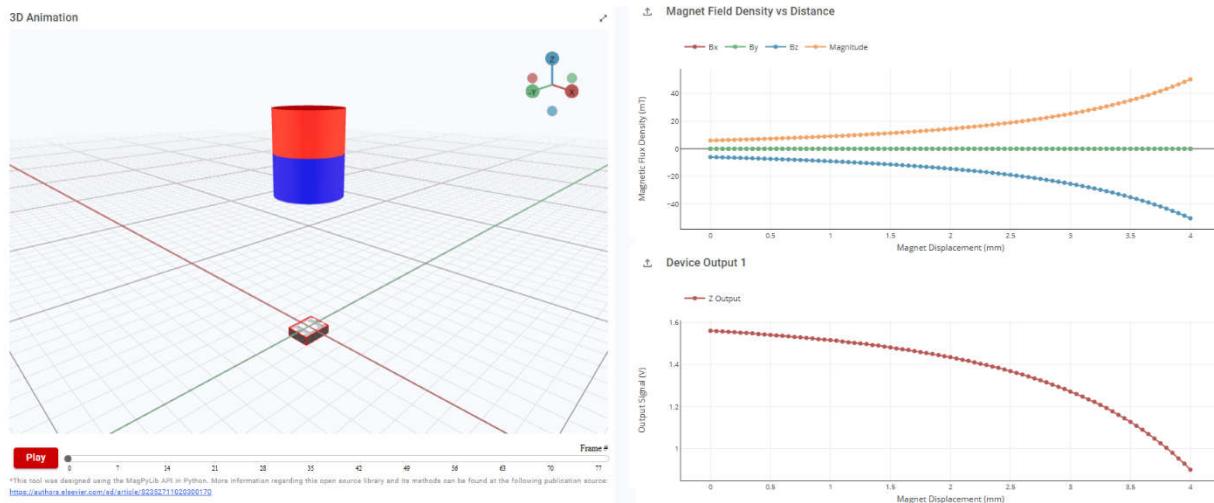


図 3-6. TMAG5253BA3 キー押下結果

また、[図 3-7](#) に、TMAG5253BA4 バリエーションの結果を示します。このバリエーションは、磁気範囲が  $\pm 160\text{mT}$ 、感度が  $7.5\text{mV/mT}$  の低いものです。[図 3-6](#) と [図 3-7](#) のデバイス出力のグラフ結果を比較すると、TMAG5253BA3 は TMAG5253BA4 よりも精度の高いデータを提供するため、より正確な動きの追跡が可能であることがわかります。

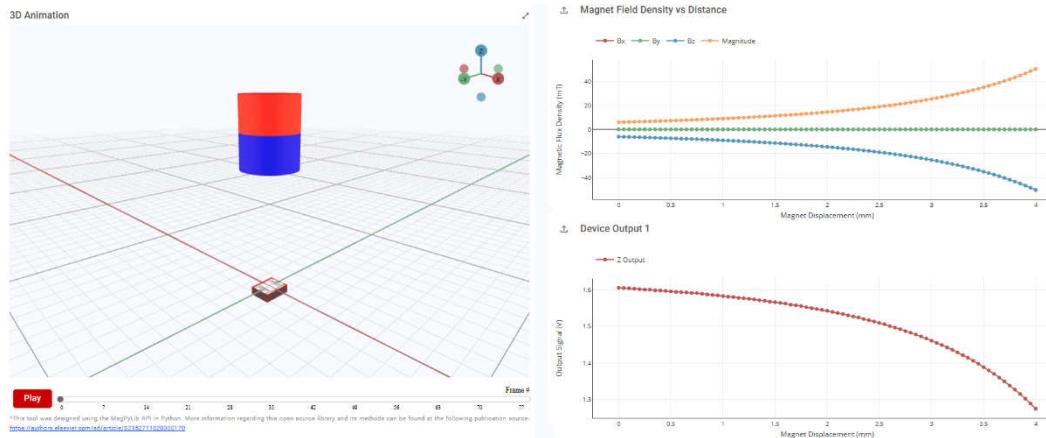


図 3-7. TMAG5253BA4 キー押下結果

図 3-8 に、TMAG5253BA2 バリアントの結果を示します。これは TMAG5253BA3 バリアントに比べて、磁気範囲が  $\pm 40\text{mT}$  と小さく、感度が  $30\text{mV/mT}$  です。ただし、図 3-8 に示すデバイス出力 1 のグラフでは、磁石がセンサにかなり近くと飽和が発生します。TMAG5253BA2 バリアントを選択する場合は、この飽和により有用な磁気データが観測されない期間があります。

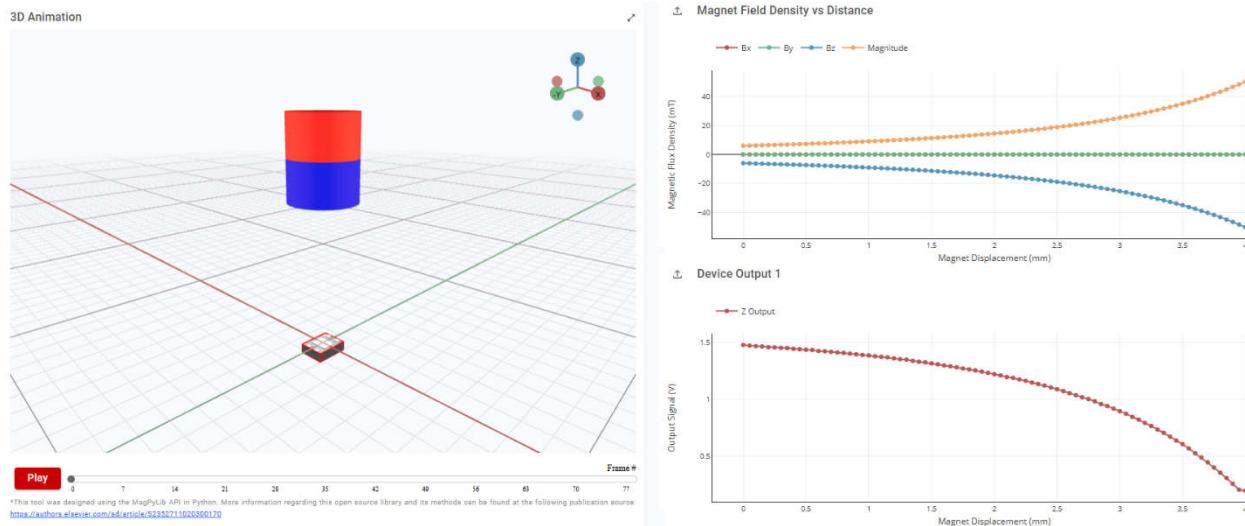


図 3-8. TMAG5253BA2 キー押下結果

図 3-6、図 3-7、および図 3-8 の結果に基づくと、飽和状態に達することなく最高の感度を実現できるのは、TMAG5253BA3 バリアントの可能性が高いことがわかります。

## 3.2 キー押下ベンチの結果

TIMSS でシミュレーションされた結果を検証するために、物理的なベンチセットアップを作成しました。このテストでは、TMAG5253BA3 と TMAG5253BA2 の両方を HALL-ADAPTER-EVM ブレークアウトボードに実装しました。これにより、両方のバリアントの結果を比較して、TIMSS に示すように、TMAG5253BA3 バリアントが引き続きオプションであるかどうかを確認できます。ラボのセットアップでは、磁気キーボードスイッチに使用されている Samarium Cobalt YX18 磁石が固定の位置に配置されていました。次に、TMAG5253BA2 を搭載した HALL-ADAPTER-EVM を、磁石の中心がセンサの中心と一致するよう配置しました。まず、センサを、完全に押された状態の位置にし、磁石をセンサから約 2.1mm 離れた位置に配置します。その後、センサは 0.05mm 刻みで移動され、センサが開始位置から合計 4mm 離れた位置に移動し、磁石から 6.1mm 離れた位置にセンサを配置して、磁気キーボードスイッチが押されている状態から押されていない状態に移行するのを模倣しました。図 3-9 に、この間にセンサから収集されたデータ結果を示します。

### TMAG5253BA2IQDMRR

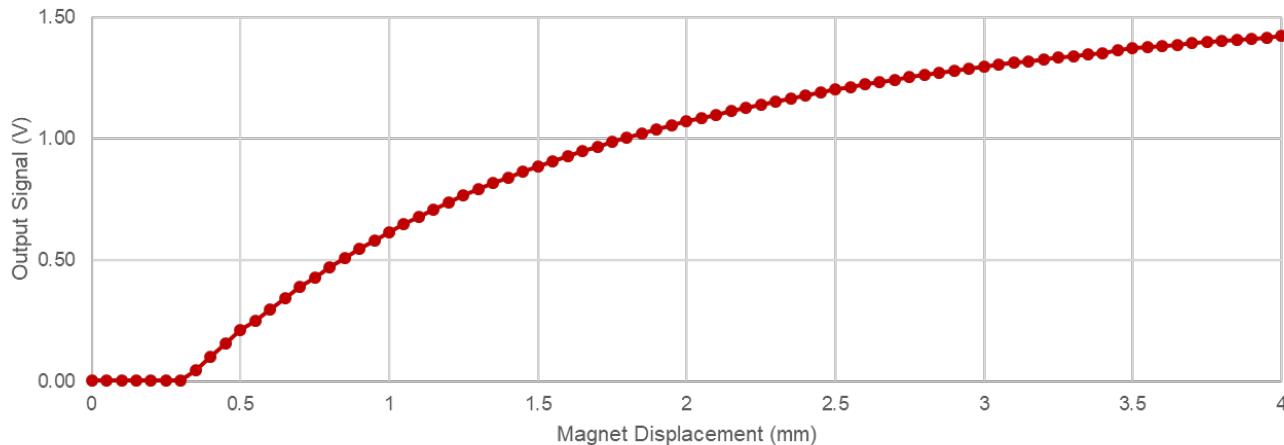


図 3-9. TMAG5253BA2 ベンチの結果

TMAG5253BA2 バリアントの [TIMSS](#) シミュレーションで観測された結果と同様に、磁石が完全に押された状態に達すると検出素子が飽和します。これは、この時点では、意味のあるデータは抽出できないことになります。[図 3-10](#) に、  
[TMAG5253BA3](#) で測定した結果を示します。[図 3-10](#) に示す結果から、飽和は発生しないだけでなく、0.05mm のインクリメント時に、センサを磁石から遠くまで移動させると、センサは増分的な変化を観測できました。

### TMAG5253BA3IQDMRR

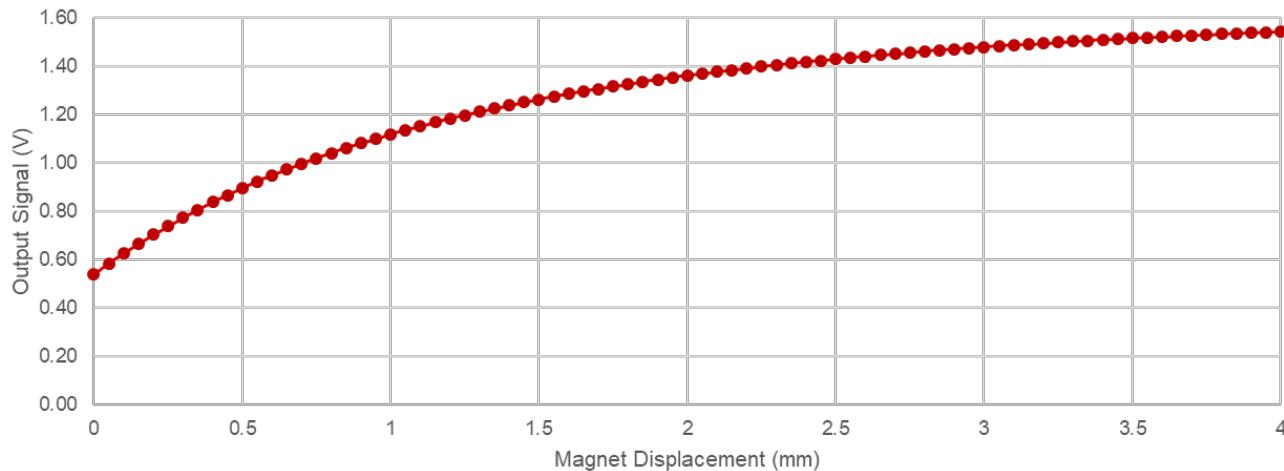


図 3-10. TMAG5253BA3 ベンチの結果

上記のベンチテストの結果に留意する必要があるのは、すべてのテストと同様に、人的エラーです。ベンチの設定はできるだけ正確になるよう設計されていますが、センサの動作を制御するために [Newport](#) リニア モーション コントローラを使用した場合、センサの位置は磁石の中心とは正確には合わせていません。また、センサから磁石への元の位置が正確に 2.1mm となっていない可能性もあり、ベンチテスト結果と、シミュレーションで観測された結果と比較した場合、わずかな違いがあることがわかります。

## 4 キーボードの設計例

図 4-1 に、矢印キーとノブの両方として機能するように設計された 4 つのキーを持つキーボード設計の例を示します。この設計例では、矢印キーに 4 つの TMAG5253 デバイスを、ノブに 1 つの TMAG3001 を使用しています。また、矢印キーごとに RGB LED が付属しているため、キーを押していないときに色が点灯し、押下すると白色になることがあります。LED の色はノブで制御されるため、ノブが回転して LED の色が変わる可能性があります。ノブで 3D ホール効果センサを使用する方法や角度測定に 3D ホール効果センサを使用する方法の詳細については、『家電製品でのノブ用の 3D ホール効果センサ』アプリケーション ノートまたは『多軸ホール効果センサによる角度の測定』アプリケーション ノートをそれぞれ参照してください。

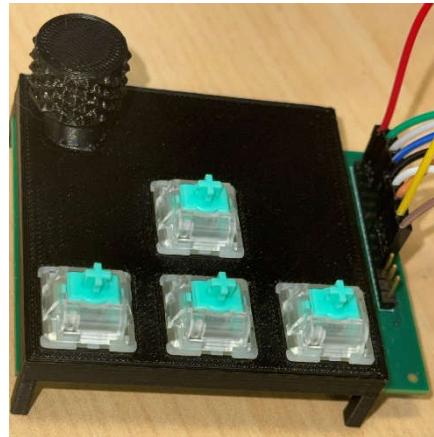


図 4-1. キーボードの設計例

前述のキーボード設計の回路図は、図 4-2 に示します。このキーボードの例では、マルチプレクサを使用して TMAG5253 の 4 つの ADC 出力を切り替えることで機能します。MCU を使用してマルチプレクサの入力 (TMAG\_EN0 および TMAG\_EN1) を制御することで、MCU は 4 つの矢印キー出力のうちどれを聴くかを選択できます。

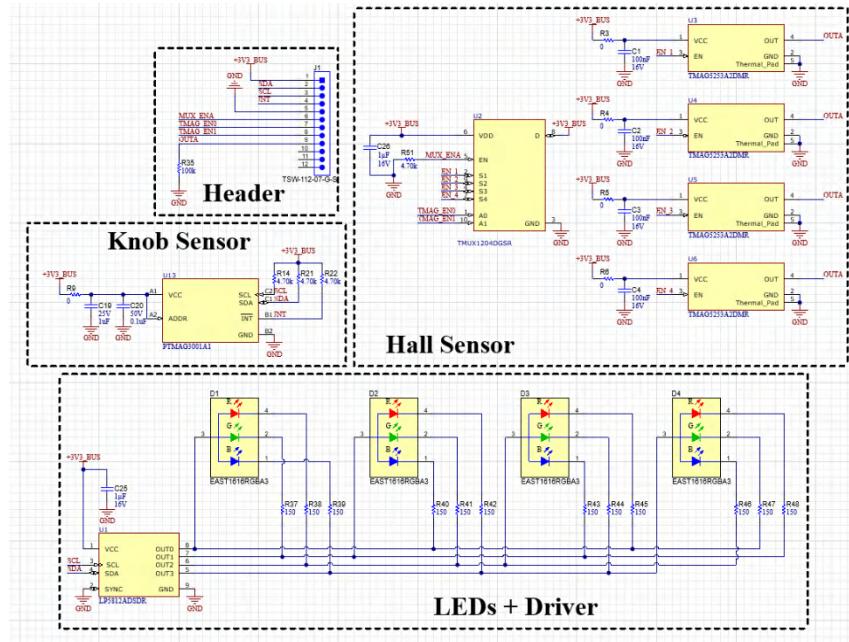


図 4-2. キーボード設計例の回路図

表 4-1 に、キーボード矢印ロジックの真理値表を示します

表 4-1. キーボードの真理値表

TMAG_EN0	TMAG_EN1	選択されたキー
0	0	左矢印
0	1	下矢印
1	0	右矢印
1	1	上矢印

図 3-10 に示すキーボードデザイン例を使用すると、MSP-EXP432E401Y などの、テキサス・インストルメンツのランチパッドを使用して、図 3-9 に示すヘッダーに接続し、ボードに電源を供給して対話型操作を実現することができます。

## 5 まとめ

結論として、ホール効果センサは、キーボード アプリケーションで多くの利点を実現できます。非接触操作を可能にし、キーボードの耐久性を向上させ、アクチュエータ ポイントをカスタマイズできるため、性能と耐用年数の利点により、ホール効果センサは、プロフェッショナル、ゲーム、産業用キーボード アプリケーションに最適です。応答性、信頼性、カスタマイズ可能な入力デバイスに対するユーザーの需要が増大し続けるなか、ホール効果技術は高性能キーボードで重要な役割を果たすよう開発されています。

## 6 参考資料

1. テキサス・インストルメンツ、[家電製品のノブ用の 3D ホール効果センサ](#)、アプリケーション ノート。
2. テキサス・インストルメンツ、[多軸リニアホール効果センサによる角度測定](#)、アプリケーション ノート。
3. テキサス・インストルメンツ、[TMAG5253 EN ピン搭載、超小型パッケージ、低消費電力、リニア ホール効果センサ](#)、データシート。
4. テキサス・インストルメンツ、[TMAG3001 低消費電力、3D リニアおよび角度ホール効果センサ、I2C インターフェイスおよびウェイクアップ検出機能搭載、WCSP パッケージ](#) データシート
5. テキサス・インストルメンツ、[TMAG3001 I<sup>2</sup>C 対応、プログラマブル スイッチ搭載、3 軸リニア ホール効果センサの評価基板](#)、ユーザーズ ガイド。

表 6-1. 推奨デバイス

デバイス	特性	設計上の考慮事項
TMAG5253	X2SON パッケージ封止、イネーブル ピン搭載、低消費電力リニア ホール効果センサ	Z 軸方向の磁界強度を測定し、ADC 出力でデータを報告します。イネーブル ピンにより、複数のデバイスが同じ ADC ピンを共有し、使用しないデバイスをディセーブルすることにより、システムの消費電流を低減できます。
DRV5055	SOT23 または TO-92 パッケージ封止のリニア ホール効果センサ	Z 軸方向の磁界強度を測定し、ADC 出力でデータを報告します。
TMAG5231	SOT23 または X2SON の各パッケージに封止済みの、低消費電力型ホール効果スイッチ	BOP が交差すると、Z 軸の磁界強度を測定し、(バリエーションに応じて) High または Low をプルします。オン/オフ応答のみが必要な場合に便利です。
TMAG3001	YBG パッケージに I2C インターフェイスとウェイクアップ検出機能搭載、低消費電力 3D リニア/角度ホール効果センサ。	X、Y、Z 軸の磁界強度を測定します。角度を計算するために、内蔵の CORDIC を使用しています。平均消費電流を低減しながらサンプリングを可能にするウェイクアップおよびスリープモードを備えています。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](http://ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ（データシートを含みます）、設計リソース（リファレンス デザインを含みます）、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](http://ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated